УДК 621.891

Н.С. КОЛЕВ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ТЕОРИЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ НА КОНТАКТНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ИНСТРУМЕНТА

В принятой модели стружкообразования мы базировались на гидродинамических законах, а также на реологических явлениях при движении частиц тела относительно друг друга. Получены теоретические зависимости для определения давления на передней поверхности инструмента.

***Ключевые слова**: гидродинамические законы, реологические явления, давление.*

Введение. Трение, возникающее при обработке металлов резанием, есть трение деформации, при перемещении по поверхности резца все новых внутренних слоев металла под большом давлением.

Чтобы в должной степени оценить роль трения в процессе резания металлов, необходимо прежде всего установить, в каких участках это трение имеет место.

Экспериментальная часть. В случае простого прямоугольного резания (рис.1) стружкообразование рассматривается как двухмерный процесс, протекающий перпендикулярно режущей кромке инструмента, при котором полностью отсутствуют компоненты движения, параллельные режущей кромке.

Можно констатировать две области внешнего трения:

1) трение стружки о переднюю грань на участке ОА;
2) трение обрабатываемой детали о заднюю грань на участке ОВ.

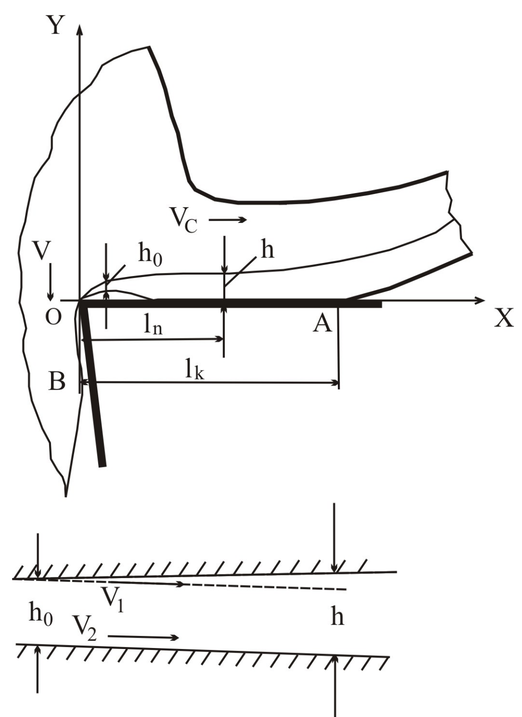


Рис.1. Схема образования стружки и приближенная модель вязкотекучего слоя

Как видно из рис.1, режущий клин инструмента обтекается с двух сторон обрабатываемым материалом. По передней поверхности резца перемещается стружка со скоростью V_c , причем застойная зона усложняет ее движение, так как нижний прирезцовой слой несколько

притормаживается, вызывая дополнительные напряжения в контактной зоне.

Рассмотрим процесс трения на передней поверхности инструмента (участок ОА, рис.1). Высокие температуры в контактной зоне вызывают сильное разупрочнение сливной стружки и приводят к падению ее вязкости. Это обстоятельство позволяет предположить, что между передней поверхностью резца и стружкой в зоне пластического контакта находится слой массы однородной структуры, который ведет себя как вязкая жидкость.

В принятой модели стружкообразования для определения сил трения и напряжений мы базировались на гидродинамических законах, а также на реологических явлениях при движении частиц тела относительно друг друга.

Реологическое поведение вещества зависит не только от деформаций и напряжений, но и от скорости деформаций, а также от скорости возникновения напряжений. В потоке вязкой жидкости напряжения зависят от скорости деформации: чем больше относительная скорость частиц жидкости, тем больше вязкое сопротивление.

В работе [1] приводится реологическое уравнение состояния вещества в следующем виде:

$$R(e, \beta) = 0, \qquad (1)$$

где R - реологическая функция; e - тензор деформации; β - тензор напряжений.

Уравнение (1) имеет место для всех веществ, но различным веществам соответствует разная форма уравнения. Простейшими формами уравнения будут:

$$e \equiv 0\,; \; \beta \equiv 0.$$

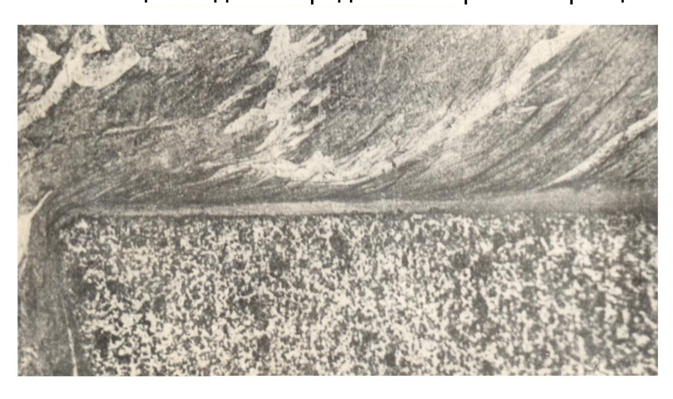
Какие вещества определяются этим уравнением?

Например, уравнение $e \equiv 0$ означает, что в теле нет никаких деформаций при любых действующих на тело силах. Такое тело можно назвать абсолютно твердым. Тем не менее, в принципе в природе нет абсолютно твердых тел.

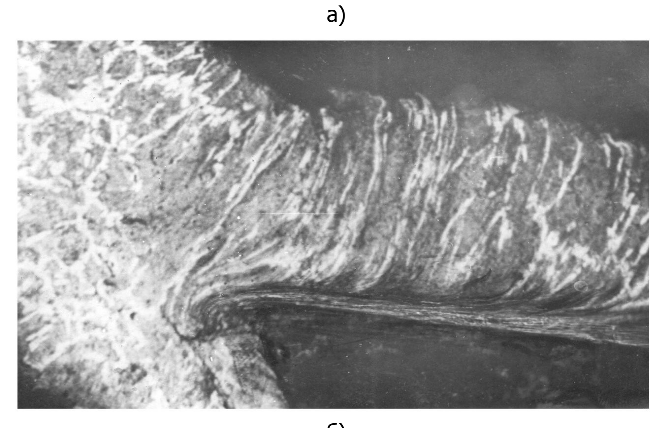
Ньютоновская вязкая жидкость является идеальным реологическим телом, которое с весьма большой степенью точности удовлетворяет экспериментальным данным для истинно вязких жидкостей [2, 3].

Совершенно очевидно, что физические явления, протекающие при деформации металла и чисто вязкой среды, существенно различны, однако зависимость сопротивления от скорости деформации имеет в обоих случаях близкий характер. Именно эта связь с точки зрения механики и выражает физические свойства среды.

На рис.2 показаны микрошлифы корней стружек, полученных после мгновенного прекращения процесса резания. Из снимков видно, что высокодеформированный бесструктурный прирезцовый слой стружки нелинейно возрастает по толщине вдоль передней поверхности резца.



а)



б)

Рис.2. Вязкотекучий слой при резании:
а) стали 40 со скоростью $V = 150$ м/мин (по Н.Н. Зореву);
б) стали 50 при точении

Обработка опытных данных показала, что толщина текучего слоя по длине пластического контакта (см. рис.2, а) приближенно изменяется по следующей закономерности:

$$h = h_0 + \alpha \cdot x. \quad (2)$$

Согласно такому представлению напряжения при сходе стружки будут зависеть от скорости деформации и характера течения обрабатываемого материала. Касательные напряжения в этом случае подчиняются следующей зависимости:

$$\tau_{xy} = \eta \frac{dV}{dh}, \quad (3)$$

где η - коэффициент динамической вязкости обрабатываемого материала; $\frac{dv_x}{dy}$ - градиент скорости.

Как показали наблюдения за процессом резания при помощи оптического суппорта, на участке пластического контакта, помимо трения вну-

три вязкотекучего слоя, наблюдается проскальзывание нижних слоев стружки относительно инструмента.

Тогда касательные напряжения в зоне пластического контакта будут равны:

$$\tau_{пл} = \tau_{xy} + \tau_{внеш}. \tag{4}$$

Таким образом, в выражении (4) учитывается скорость проскальзывания стружки, которая на участке пластического контакта обуславливает внешнее трение.

В связи с этим градиент скорости по толщине вязкотекучего слоя будет $\frac{d\upsilon_x}{dy}$, и касательные напряжения в зоне пластического контакта можно выразить следующим уравнением:

$$\begin{aligned} \tau_{пл} &= \left[\eta \cdot \frac{d\upsilon_x}{dy} + \tau_{внеш}\right]; \\ d\upsilon_x &= d\cdot\left(V_1 - V_2\right), \end{aligned} \tag{5}$$

где V_1 - скорость стружки в верхнем слое текучего слоя; V_2 - скорость проскальзывания (в нижнем слое).

Для этой цели воспользуемся уравнениями пограничного слоя, которые имеют следующий вид:

$$\left.\begin{aligned} &\upsilon_x \frac{\partial \upsilon_x}{\partial x} + \upsilon_y \frac{\partial \upsilon_x}{\partial y} = -\frac{1}{\rho}\frac{\alpha P}{\partial x} + \nu \frac{\partial^2 \upsilon_x}{\partial y^2}; \\ &\nu \frac{\partial^2 \upsilon_x}{\partial y^2} = \frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial x}; \quad \nu = \frac{\eta}{\rho}; \\ &\frac{\eta}{\rho}\frac{\partial^2 \upsilon_x}{\partial y^2} = \frac{1}{\rho}\frac{\partial P}{\partial x}. \end{aligned}\right| \begin{aligned} &\frac{\partial^2 \upsilon_x}{\partial y^2} = \frac{1}{\eta}\frac{\partial P}{\partial x}; \\ &\frac{\partial P}{\partial y} = 0; \\ &\frac{\partial \upsilon_x}{\partial x} + \frac{\partial \upsilon_y}{\partial y} = 0. \end{aligned} \tag{6, 7, 8}$$

Граничные условия в рассматриваемой задаче будут иметь вид:

$$\begin{aligned} &при \quad y = h; \quad \upsilon_x = 0; \; \upsilon_y = 0; \\ &при \quad y = h; \quad \upsilon_x = -U; \; \upsilon_y = 0. \end{aligned} \tag{9}$$

Согласно приведенной модели стружкообразования, представленной на рис.1, нами рассматривается плоская задача.

$$\begin{aligned} \frac{\partial \upsilon_x}{\partial y} &= \frac{1}{\eta}\frac{dP}{dx} y + C_1; \\ \upsilon_x &= \frac{1}{\eta}\frac{dP}{dx}\frac{y^2}{2} + C_1 y + C_2. \end{aligned} \tag{10}$$

Из уравнения (8)

$$\frac{\partial \upsilon_y}{\partial y} = -\frac{\partial \upsilon_x}{\partial x}.$$

Проделав ряд преобразований, получим окончательные значения P_τ и P_N.

Окончательно выражение можно представить в следующем виде:

$$P_N = \frac{6\eta v_1}{\alpha h_0}\left[\frac{1}{1+\beta x} - \frac{1}{2(1+\beta x)^2}\right] + C. \qquad (11)$$

Уравнение (11) представляет закономерность распределения нормального давления на участке пластического контакта l_n.

Проделав некоторые преобразования и подставив предельные значения, получим:

$$P_\tau = \frac{\eta}{\alpha}(v_1 - v_2)\ln|1+\beta x| + \mu P_N x + \frac{6\eta v_1 \mu}{\alpha^2};$$
$$\left[\frac{2}{1+\beta x} + \ln|1+\beta x| - \frac{1}{2(1+\beta x)^2}\right] + P - \frac{3}{2}\frac{6\eta \mu v_1}{\alpha^2}. \qquad (12)$$

Выражения (11) и (12) отражают закономерность распределения нормального и касательного давлений в зоне пластического контакта с учетом трения внутри текучего слоя.

В таблице приводятся сопоставленные значения распределения нормального и касательного давлений, полученные экспериментальным путем и вычисленные по формулам (11) и (12). Эксперименты проводились при следующих условиях: резанию подвергалась сталь 40 при скорости резания $v = 16$ м/мин, подача $S = 0{,}2$ мм/об, глубина резания $t = 2$ мм. Инструмент, оснащенный пластинкой твердого сплава марки ВК8, имел следующую геометрию: $\gamma = 0°$; $\alpha = 10°$; $\varphi = 90°$; $\lambda = 0°$. Средний коэффициент трения $\mu = 0{,}46$, а коэффициент вязкости $\eta = 0{,}03 кг \cdot с / мм^2$. Начальная толщина вязкотекучего слоя $h_0 = 0{,}06$ мм, $\alpha = 0{,}2$.

Как видно из таблицы, результаты экспериментов довольно близки к результатам, вычисленным по формулам (11) и (12), и отражают закономерность распределения нормальных и касательных напряжений вдоль контакта стружки с резцом.

Сравнительная таблица значений распределения нормального и касательного давлений при резании

X, мм	P_N, кг/мм²	P_τ, кг/мм²
0,1	185/235	80/82
0,2	120/165	100/122
0,3	95/95	70/92
0,4	70/67	70/90
0,5	40/25	65/82

Необходимо отметить, что вычисленные значения напряжений по теоретическим зависимостям несколько завышены у лезвия и занижены в конце пластической зоны. Дело в том, что движение вязкотекучего слоя у вершины резца очень сложное и, как показывают микрофотографии корней стружек, вязкотекучий слой обтекает застойную зону.

Характер распределения напряжений по длине контакта неодинаков, так, например, касательные напряжения на передней поверхности у лезвия имеют максимальное значение на всем участке пластического кон-

такта, в то время как нормальные напряжения монотонно убывают от лезвия до выхода стружки из контакта с резцом.

Выводы: 1. Характер трения на передней и задней поверхностях различный. Так, на передней поверхности инструмента необходимо различать две области трения: пластическую - у лезвия инструмента и упругую – на выходе стружки у контакта.

2. В результате высоких давлений в пластической зоне наблюдаются застойные явления, что вызывает подслойное течение в материале стружки. Для описания механизма трения на этом участке нами была принята модель вязкотекучего слоя, предпосылки которой базируются на законах гидродинамики и реологических свойствах среды. Совершенно очевидно, что физические явления, протекающие при деформации металла и чисто вязкой среды, существенно различны, однако зависимость сопротивления от скорости деформации имеет в обоих случаях близкий характер. Именно эта связь, с точки зрения механики, и выражает физические свойства среды.

Библиографический список

1. Рейзер М. Десять лекций по теоретической реологии. – М.: ОГИЗ, 1947.
2. Колев Н.С. Теоретические и инструментальные исследования трения и изнашивания вольфрамокарбидных и титановольфрамокарбидных сплавов. Дис…. д-ра техн. наук. – Ростов н/Д, 1973. – 460 с.
3. Крагельский И.В. Трение и износ. – М.: Машиностроение, 1968. – 390 с.

Материал поступил в редакцию 08.11.06.

N.S. KOLEV

USE OF HYDRODYNAMICAL THEORIES FOR DEFINITION OF PRESSURE ON THE CONTACT SURFACE OF THE TOOL.

In the accepted model of formation of chip we were based on hydrodynamical laws, and also on reological appearances taking place during relative movement of particles of the body. Theoretical expressions for definition of pressure on a true rake of the tool were obtained.

КОЛЕВ Николай Степанович (р.1817), профессор кафедры «Металлорежущие станки и инструмент» ДГТУ. Окончил Новочеркасский политехнический институт (1942).
Научные интересы: изучение трения и износа твердосплавных материалов. Имеет более 160 научных публикаций.